

富山の平地積雪の特性*

石坂 雅昭

富山市科学文化センター

Characteristics of the snow deposited on the Toyama plain

Masaaki ISHIZAKA

Toyama Science Museum

The mechanical properties of wet snow deposited on the Toyama plain were serially observed from January to March in the winter of 1983. They were density, Kinosita's hardness and free water content. The following results were obtained:

- 1) New snow is gradually transformed into compact snow, during which both density and hardness increase continuously.
- 2) This continuous process ceases before fine-grained compact snow becomes fully compact because of water infiltration caused by snow melting or rain fall, which often happens even in mid winter in this district. So fine-grained compact snow, whose hardness is small, is observed only in intermediate layers of the snow cover.
- 3) Free water content of fine-grained compact snow is around a few percent. Water infiltration changes the snow rapidly into granular texture with about 10% free water content. Its hardness decreases in spite of increase in density.
- 4) The relationship between hardness (R), free water content (W) and dry density ρ_d , the density of wet snow without free water) is given by the following multiple regression formula as reported by Izumi *et al.*

$$\ln R = a - bW + c\rho_d$$

where a , b and c are 2.00, 0.082 and 13.0 respectively for new snow and fine-grained compact snow in Toyama.

はじめに

富山県の平地では、真冬でも気温はプラスのことが多く、積雪はほとんどぬれ雪として存在する。さらに、積雪期における日射や雨による融雪が激しいので、積雪の変化は速い。その為、従来5日ないし10日間隔で行ってきた積雪の断面観測では、変化の速いこの地方の積雪の特徴をつかむことは困難である。そこで、1983年1月から2月の間のまとまった

積雪をみた期間、ほぼ毎日の積雪の断面観測を行い、その変化の特徴を知ることを試みたので、その結果を報告する。

また、観測結果はぬれ雪を対象とする点で、一地方の積雪の特性を知ることのみならず、ぬれ雪の力学的性質に関する材料を提供してくれる。本報告でも、観測されたぬれ雪の力学的諸量間の関係について述べる。

* 富山市科学文化センター研究業績第39号

調査方法と調査年の積雪の特徴

調査は、1983年1～2月に富山市城南公園にて行った。従来の断面観測で行うとおり積雪断面を作成し、雪質、密度、硬度、含水率を中心に測定した。これらの詳しい結果は資料編「富山市の平地積雪断面測定資料報告(1983)」(以下、これを資料編とする)に載せた。ここで、硬度は木下式硬度計を(木下、1960)、含水率の測定には秋田谷が考案した熱量式含水率計(秋田谷、1978)を用いた。

次に調査年の積雪の特徴であるが、資料編の積雪深の変化からもわかるように、この年の積雪推移には四つの山がみられ、かつ、積もった雪がいったんは、全部ないしはほとんど融けて再び積もるといふ形をもっている。

1月から3月にわたる積雪、いわゆる根雪が存在しないという点で、最大積雪深は平年並であるが、暖気の入ることの多い冬であったといえる。このことは、本調査で得た結果は、とりわけ変化の速い積雪に関するものであり、逆に根雪期間の長い時に積雪が迫る変化については、観測できなかったことを意味する。

観測の結果と考察

1. 雪質の変化の特徴

資料編図1に連続して観測した積雪の成層図を示した。まず第一に雪質の変化が激しいことがわかる。連続して観測しなければ、ある特定の層のその後の変化の様子をみることはできない。第二に、この変化の激しさは、ざらめ雪へと変化する(ざらめ化と呼ぶ)のが速いためである。

これは、積雪が絶えず融雪水を被る可能性にさらされているからである。気温の上昇、日射、雨などの融雪を促進する要因が多く、下部のざらめ層のほかに、上部にも融雪水によるざらめ層ができ、融雪水が流下する。こしまり雪ないししまり雪は、まとまった積雪がある場合にはじめて、この上部と下部のざらめ雪の層にはさまれた比較的水に覆われることが少ない部分に発達する。しかし、融雪水に覆われるまでの時間は短くかたいしまり雪へ発達する間もなくざらめ化がおこる。また、しまり雪のところどころの止水面には、融雪水の浸透による薄い(1 cm以下)ざらめ層ができることも多い。以上のような積雪の

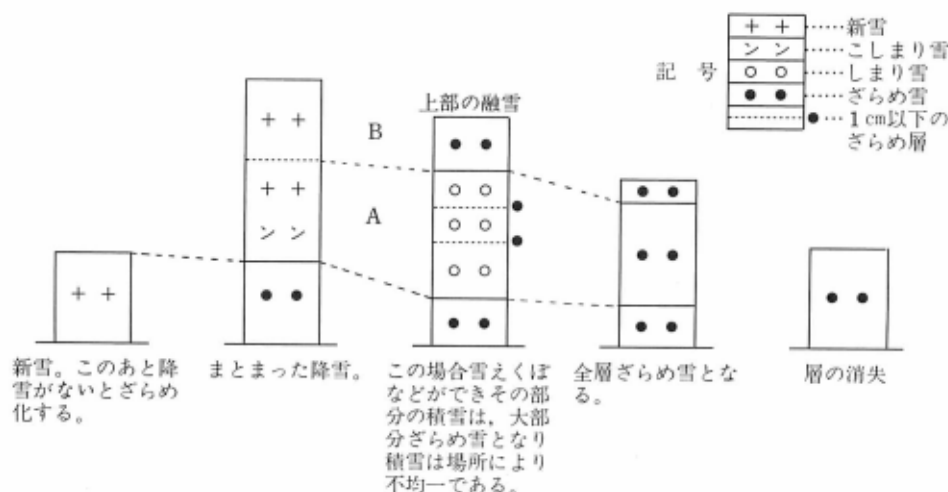


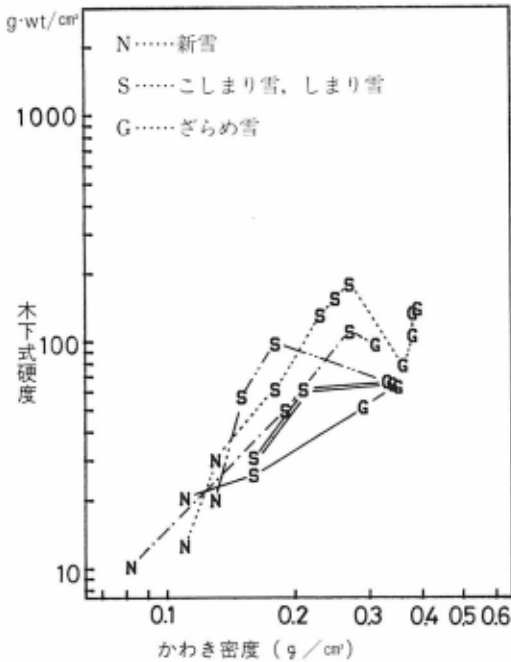
図1 積雪の変化の基本パターン

変化と模式的に表現したのが図1である。図1に示した型を基本に、その上に時間的にずれた同様の型がくりかえされるような成層状態を実際の積雪はとることになる。

2. 密度・硬度・含水率の変化

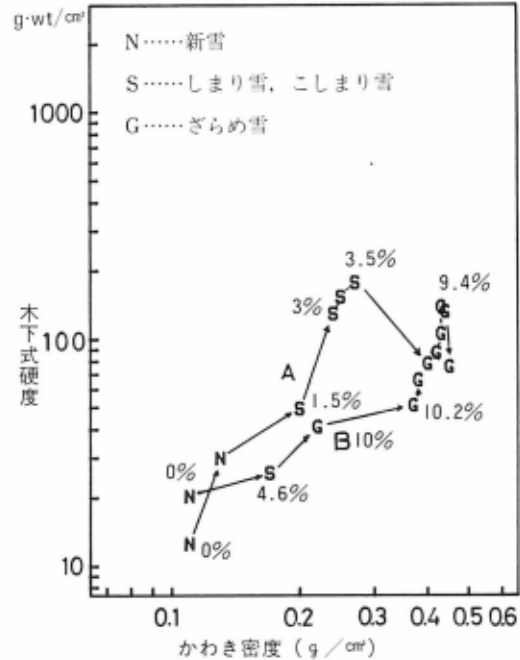
連続的な観測によって、ある注目する層の雪質の変化とともに、その層の力学的な諸性質をあらわす諸量、すなわち密度・硬度・含水率などがどのように変化していくかをみることができる。それをみたのが図2である。さらに、図2のなかから二つの典型的な変化を示すものを取りだしたのが図3である。図3でAが示す過程は、ある程度まとまった積雪があり、積雪の中間にこしまり雪あるいはしまり雪を形成する場合のそれらの雪の層がたどる過程である。この場合は、新雪からし

まり雪へと圧密化が起こるに伴い連続的に密度・硬度とも増加する。圧密化は、融雪水の浸透によるざらめ化が生じるまで続くが、その期間はきわめて短い。この場合のしまり雪の含水率は、ほぼ3%前後であり、融雪水の浸透により、含水率10%前後のざらめ雪へと変化する。Bは、積雪が少ない場合または積雪の上部の融雪水にみまわれやすい層のたどる過程であり、しまり雪へ圧密化されことなくざらめ化が起こる場合である。きわめて軟弱な雪のまま、ざらめ雪へと変化する。調査した積雪は、A、Bを両極の典型として、その中間的な過程をたどったと考えられる。ここで、1およびこの項で述べたことをまとめたものが表1である。なお、図1のA、Bも表1のA、Bと対応している。



(図中で同一種類の線で結ばれているものは、一つの積雪層変化を追ったものである。)

図2 積雪層の力学的諸量の推移



(パーセントで表わした数字は雪の含水率である。)

図3 力学的諸量の変化の2つの典型

表1 積雪の変化

A	+	+	→	○	○	→	●	●	積雪の多い場合の中間の層がたどる過程。
	W=0~2%	0~5%	~10%						
B	+	+	→	●	●				積雪の少ない場合のほとんどの層、あるいは、多い場合でも上部の融雪の激しい層がたどる過程。
	W=0~2%	ン	ン	10~15%					

3. ぬれ雪の力学的性質について

前にも述べたとおり、この地方では積雪はほとんどぬれた状態で存在する。したがってこれらの雪の力学的諸量を測定することは、

図4 密度-硬度の分布

図中で右肩につけた符号は、同一の積雪でありながら、雪温が0℃以下になって凍ったために硬度が大きくなったものを示してある。それぞれの符号の中で一番低い硬度が、ぬれ雪の状態となったときの硬度である。

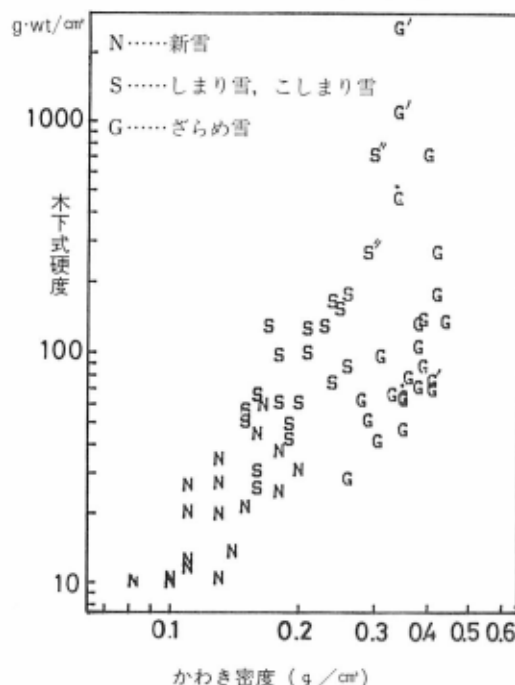


表2 木下式硬度 R ($g\text{-wt}/cm^2$)と含水率 W (%), 乾き密度 ρ_d (g/cm^3)との重回帰式
 $\ln R = a - bW + c\rho_d$ の定数 (新雪・しまり雪について)

観測場所	a	b	c	Wに関する ρ_d と $\ln R$ の偏相関係数	ρ_d に関するWと $\ln R$ の偏相関係数	重相関係数	個数
富山	2.00	0.082	13.0	0.84	-0.38	0.91	20
和泉らによる 新潟・北海道	2.10	0.0512	14.3	0.97	-0.79	0.972	33

一地方の積雪の特性のみならず、ぬれ雪一般についての諸性質を知る材料を集めることにもなる。ぬれ雪の力学的性質に関しては、ぬれ雪の硬度についての和泉らによる新潟・北海道の積雪を材料とした報告(1982)があるので、同じ方法を用いて比較検討を行った。まず、図4に測定した雪の密度と硬度の関係を雪質別に示した。1および2で述べたように、融雪水の浸透が顕著なために、十分に圧密化されることなくざらめ化が生じるので、しまり雪の発達が悪く、密度・硬度とも小さいこしまり雪がほとんどである点は、新潟や北海道とも異なる。また、図からは、新雪からしまり雪へと連続的に連なったグループと、それとは断絶した含水率10%前後のざらめ雪のグループのあること、さらにざらめ化によって密度は増加しても硬度は低下していることなどがわかる。

次に、和泉らによって行われた密度と硬度と含水率に関する重回帰式の係数を比較してみた。重回帰式は、次の式であり、ここには硬度は密度とともに指数関数的に増加し、含水率の増加にともなって指数関数的に減少することが前提されている。

$$\ln R = a - bw + c \rho_d$$

ここで R ; 木下式硬度 (g-wt / cm²)

W ; 含水率 (%)

ρ_d ; 乾き密度 (g / cm³)

a, b, c は係数。

この結果は表 2 に示した。ざらめ雪については、データ数が少なかったので求めなかった。新雪、しまり雪についても、データ数は多いとはいえず、これくらいの数では、1 個の資料による影響をうけやすく、その点で係数の傾向をみるしかできないが、ほぼ同じような傾向にあることがわかる。また、偏相関係数から、含水率の影響を除いた乾き密度と硬度の相関が高いことなども同一である。密度の影響を除いた含水率と硬度の相関は、新潟・北海道の場合よりいっそう低く、ばらつきが大きいことを示しているが、全体として上記の回帰式は、新雪およびしまり雪の密度・硬度・含水率についての目安を与えてくれるといえる。

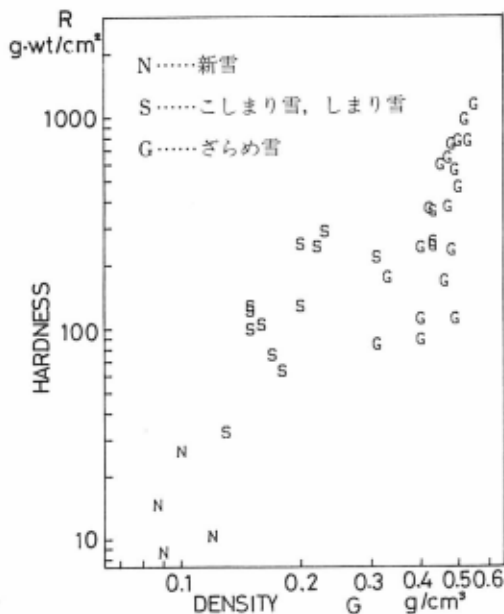


図 5 56 豪雪の時の密度—硬度分布

4. ざらめ雪について

図 4 のざらめ雪の分布は、ほとんどが密度 0.4 g / cm³ 前後、硬度 100 g-wt / cm² 前後の範囲に分布する。図 5 は、豪雪時のものであるが、この図と比較すると、今回の調査の対象となったざらめ雪は、きわめて硬度の低いものであることがわかる。これは、観測年の積雪の特徴で述べたように、長く根雪として存在することなく、きわめて短い時間に積雪が消えたことに関係している。すなわち、一冬期に凍結、再凍結をくりかえして、密度・硬度とも増大させることがなく、その前に消えたためと考えられる。このことは、雪の最後の姿を見ているともいえる。どんな硬い雪も消雪寸前になると、ざらめ雪になり層の境界がなくなり、ちょうど、今回のざらめ雪がたくさん分布するあたりの雪となって消えていくようである。融雪水の流下と粒の大きさ、そのつながりなどの関係で、雪のクライマックスにある一定の領域ができるのではないかと考えられる。

まとめ

1983 年 1 月～2 月に富山の平地の積雪の変化を調べその特徴をみてみた。その結果は次のとおりである。

- (1) 富山の平地のような暖候地では、積雪は絶えず融雪水にみまわれる可能性をもち積雪の変化は、融雪水の浸透によるざらめ化とそのことによるしまり雪への圧密化の中断によって特徴づけられる。すなわち、硬いしまり雪が形成されにくい地域である。
- (2) 積雪の変化の型と力学的な性質を表わす諸量の変化は、表 1 及び図 1 に示した。
- (3) かわき密度・硬度・含水率などの関係は和泉らによって求められたように次の重回帰式で表わされる。

$$\ln R = a - bw + c \rho_d$$

a, b, c については、表 2 に示した。

文 献

- 秋田谷英次, 1978. 熱量計による積雪含水率計の試作. 低温科学・物理篇, 36:103—111.
- 和泉薫, 秋田谷英次, 1982. ぬれ雪の硬度. 低温科学・物理篇, 41:89—97
- 木下誠一, 1960. 積雪の硬度 I. 低温科学・物理篇, 19:119—134